


Приведены результаты исследования электропотребления с учетом качества электрической энергии в сетях переменного тока 0,4 кВ, проведен анализ показателей качества, даны практические рекомендации.

**УДК 628.971: 621.398****М.Н. Нестеров**, канд. техн.наук**А.А. Виноградов**, канд. техн.наук.,
Белгородский государственный
технологический университет
им В.Г. Шухова**А.В. Сапрыка**, канд. техн.наук
Харьковская национальная академия
городского хозяйства**В. А. Сапрыка**, КП «Горсвет»

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С УЧЕТОМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 0.4 кВ г. БЕЛГОРОДА

В международной практике исследованиям электропотребления с учетом качества электроэнергии в последнее время стали предавать первостепенное значение. Целью таких исследований являются предотвращение причинения вреда личности или имуществу физических и юридических лиц, окружающей среде в результате нарушения функционирования технических средств, при воздействии электромагнитных помех, а также обеспечение безопасности жизни и здоровья населения.

В 90-е годы внимание к проблемам компенсации реактивной мощности (КРМ) и качества электроэнергии ослабло вследствие спада потребления электроэнергии на предприятиях, в связи с появлением резервов генерирующих мощностей, пропускной способности сетей и трансформаторного оборудования подстанций. В результате практически не действовали разработанные в 90-х годах документы: «Инструкция по системному расчету КРМ в электрических сетях», «Указания по проектированию КРМ в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий», «Правила присоединения потребителей к сетям общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии», а также ГОСТ 13109-97, определяющий нормы качества электроэнергии, не находил должной юридической поддержки. Всё это привело к тому, что в энергосистемах и на предприятиях внедрялось незначительное количество установок КРМ, а действовавшие выводились из работы, т.к. эксплуатировать их стало экономически невыгодно. Помимо этого, снижение потребления электроэнергии предприятием относительно средних расчетных проектных нагрузок при наличии устройств КРМ приводило к перекомпенсации и, следовательно, к повышению напряжения в сети, что нежелательно для работы электрооборудования. В последние годы ситуация изменилась. Потребление электроэнергии в промышленности растет. Например, в Свердловской области, где бурно развиваются электросталеплавильные производства, потребление электроэнергии сегодня достигло уровня 1990 года. При этом нужно учесть, что в 90-х и 2000-х годах в области не вводились новые генерирующие мощности, а старые имеют высокую степень износа. В этих условиях решение вопросов КРМ и качества электроэнергии позволяет стабилизировать напряжение сети в точках общего присоединения и повысить пропускную способность линий. Вместе с тем анализ электропотребления показывает, что в отраслях имеются значительные резервы экономии электроэнергии в условиях действующих технологий.

Исследования специалистов [1-4] показывают актуальность и необходимость решения проблемы исследования электропотребления с учетом качества электроэнер-

гии. Отклонение показателей качества электроэнергии от нормативных может привести к нарушению ЭМС и следовательно, к ряду отрицательных последствий или ущербу для отдельных видов электроприемников или потребителя в целом [1]. Среди них следует отметить;

- увеличение потерь активной и реактивной мощности;
- сокращение срока службы электрооборудования;
- увеличение капитальных вложений в СЭС;
- нарушение условий нормального функционирования электроприемников и потребителей в целом;
- нанесение вреда окружающей среде и здоровью человека.

Для предотвращения таких последствий или их ограничения необходимо управление качеством электроэнергии, а именно проведение методических, организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение КЭ в системах электроснабжения в пределах установленных норм и правил.

Методические мероприятия включают в себя:

- ограничение уровней помех, вносимых электрооборудованием потребителя, технологическим электрооборудованием электрической системы и отдельными электроприемниками; управление нормальными, аварийными и послеаварийными режимами путем регулирования частоты и напряжения; обеспечение надежности функционирования СЭС и качества электроснабжения путем совершенствования структуры электрической сети, ее средств защиты и автоматики;
- контроль и анализ КЭ;
- автоматизированное измерение показателей КЭ и вспомогательных параметров электрической энергии.

К организационным мероприятиям относятся:

- разработка и применение правовой и нормативной базы, направленной на юридическую, экономическую и финансовую поддержку условий обеспечения КЭ путем укрепления на оптовом рынке электроэнергии договорной основы в части требований к КЭ.

Технические мероприятия включают в себя:

- применение общепринятых и специализированных средств регулирования напряжения и обеспечения его качества, таких как средства компенсации реактивной мощности, фильтрокомпенсирующие и симметрирующие устройства, активные фильтры и накопители электроэнергии;
- систематический контроль КЭ;
- производство унифицированных средств измерения для учета и контроля КЭ;
- производство автоматизированных систем управления КЭ. Проблемы ЭМС давно перестали быть только научными, они приобрели практическую значимость.

Целью данной работы является исследования электропотребления с учетом качества электрической энергии в сетях переменного тока 0,4 кВ г. Белгорода.

Измерения получены с помощью измерительных приборов «Энергомонитор 3.3», которые производились по стандартной методике, определённой ГОСТ 13109-97 и обработаны при помощи прилагающейся программы EMWorkNet.

Измерения проводились в сетях, имеющих различные виды потребителей и различных характер нагрузки. Были проведены 6 измерений показателей качества электроэнергии: в главном корпусе, механическом корпусе, лабораторном корпусе, столовой, общежитиях №1 и №2. БГТУ им. В.Г. Шухова относится к потребителям 2-ой категории. Общая схема электроснабжения приведена на рис. 1.

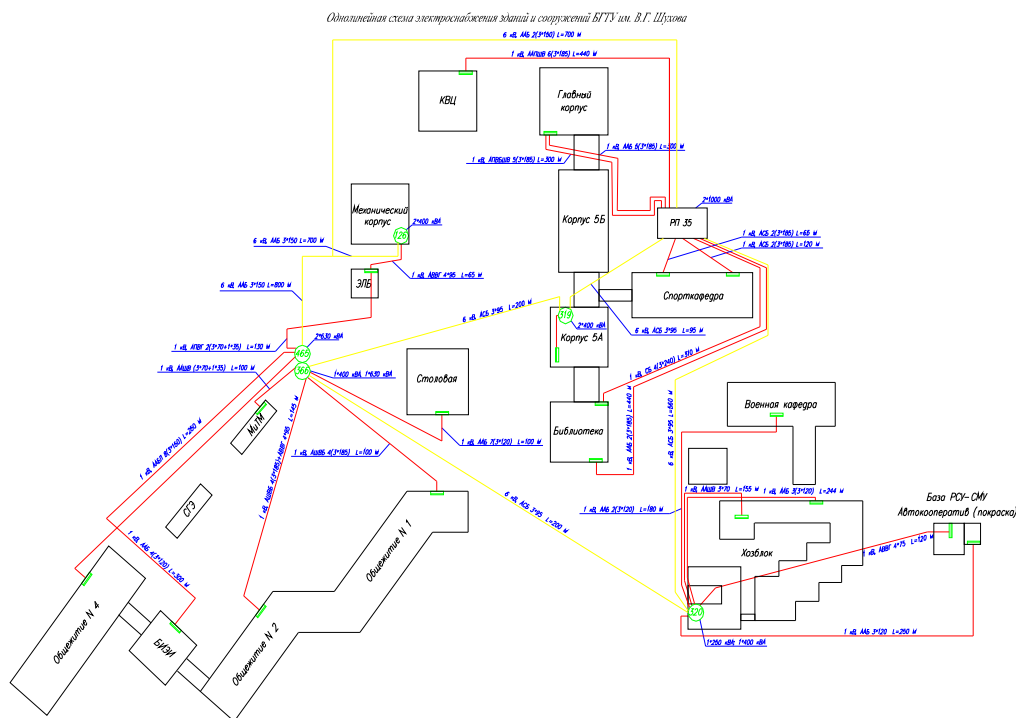


Рис 1. Схема электроснабжения БГТУ им. В.Г. Шухова.

Она выполнена кабельными линиями электропередачи 6 и 0,4 кВ. Источниками питания для БГТУ им. В.Г. Шухова являются 3 трансформаторных пункта ТП-366(1х400кВА, 1х630кВА), ТП-465(2х630кВА), ТП-320(1х250кВА, 1х400кВА), в каждом из них стоит по 2 трансформатора. Они же в свою очередь питаются от РП-35(2х1000кВА) которая запитана 2 кабельными линиями 6кВ(АБВ3х240) Г-8 и Г-9. Также РП-35 является источником питания для спортивной кафедры, библиотеки, главного, лабораторного и механического корпусов. Следует отметить наличие еще 2-х трансформаторных пунктов ТП-319 и ТП-126, они стоят соответственно в лабораторном и механическом корпусах. Это объясняется тем, что эти 2 корпуса питаются напряжениями 0,4 и 6 кВ.

Потребителями являются: административный корпус, лабораторный корпус, библиотека, спортивная кафедра, КВЦ, механический корпус, военная кафедра, хозблок, БИЭИ, общежития № 1 и № 2. Каждый из этих потребителей запитан отдельной кабельной линией. Анализ качества электроэнергии проводился в 6 узлах.

Суммарные потери мощности в системе:

Активные - 62,43060 кВт;

Реактивные - 163,37386 КВАР.

В общежитии № 1 наблюдается несимметрия распределения нагрузки. Были получены следующие результаты, нагрузка фазы А почти в 2 раза превосходит нагрузку остальных фаз, гармонические составляющие напряжения не превышали предельно допустимые. Преобладала гармоника № 5, но и она не превышала нормативного значения. Отклонения частоты были незначительны и не превышали 0,02 Гц что не превышает положенного 0,1 Гц.

В общежитии № 2 наблюдается сильная несимметрия. Основную часть нагрузки распределена лишь на одну фазу, в данном случае это фаза С, в то время как нагрузка на фазу А практически полностью отсутствует (рис. 2).

Отклонения напряжения в период максимальных нагрузок превышают предельно допустимые 5%. Вариантом решения данной проблемы может являться переключения РПН для повышения напряжения питания.

В общежитии № 2 также наблюдаются достаточно большие размахи напряжений. Это связано с очень резким наступлением максимума нагрузок и опять же несимметричной нагрузкой на фазы. Преобладала гармоника № 3, наблюдавшееся с 17 до 24 часов, но она не превышала положенного значения в 5%. Отклонения частоты были незначительны и не превышали 0,05 Гц что не превышает положенного 0,1 Гц.

$$\delta U_a \% = \frac{227 - 210}{220_H} 100 \% = 7.7 \% ;$$

$$\delta U_b \% = \frac{226 - 205}{220_H} 100 \% = 9.5 \% ;$$

$$\delta U_c \% = \frac{224 - 201}{220_H} 100 \% = 10.5 \% ,$$

В механическом корпусе фазы А и С загружены почти равномерно, а вот нагрузка фазы В в 2 раза меньше чем на других фазах. Отклонения напряжения в период максимальных нагрузок не превышают предельно допустимые 5%. Но следует отметить что при полном отсутствии нагрузки напряжение поднимается до 240 В.

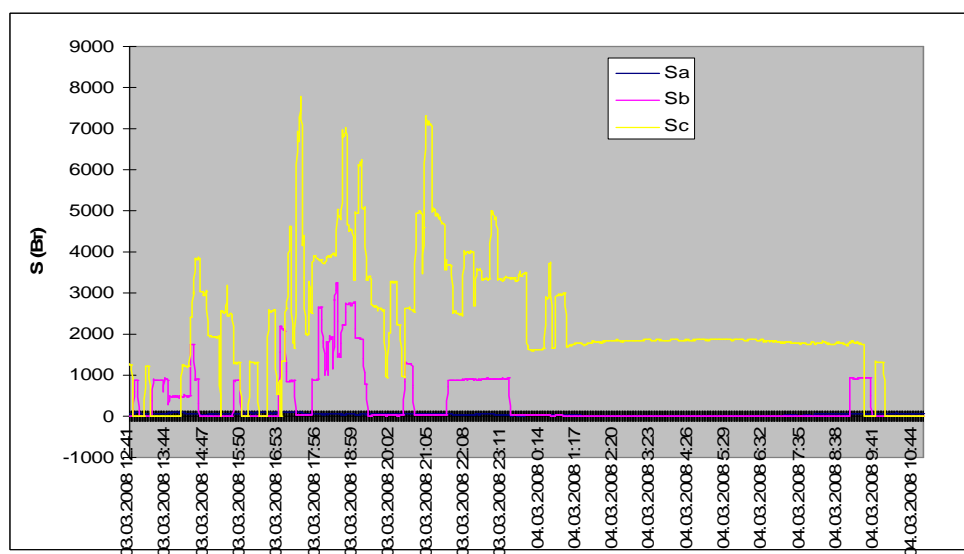


Рис. 2. - Значения потребляемой мощности в общежитии № 2

Такой размах напряжения объясняется тем, что максимум значения берется в ночное время при полном отсутствии нагрузки. В дневное время напряжение не превышает 230 В и соответственно колебания не превышают 5%.

В Механическом корпусе гармонические составляющие напряжения не превышали предельно допустимые. Преобладала гармоника № 5 но она не превышала положенного значения. Отклонения частоты были незначительны и не превышали 0,035 Гц что не превышает положенного 0,1 Гц.

В столовой университета нагрузка распределена практически равномерно в течении всех суток. Колебания нагрузки незначительны.

Отклонения напряжения в период максимальных нагрузок немного превышают предельно допустимые 5%. Но такой пик единичный и кратковременный (не превышает 5 минут)

$$\begin{aligned}\delta U_a \% &= \frac{224 - 207}{220_H} 100 \% = 6.4 \% \\ \delta U_b \% &= \frac{225 - 207}{220_H} 100 \% = 8.1 \% \\ \delta U_c \% &= \frac{223 - 205}{220_H} 100 \% = 8.1 \%\end{aligned}$$

Такой размах напряжения объясняется тем, что максимум значения берется в ночное время при полном отсутствии нагрузки. В дневное время напряжение не превышает 215 В и соответственно колебания не превышают 5%.

В механическом корпусе гармонические составляющие напряжения не превышали предельно допустимые. Преобладала гармоника № 5, но она не превышала положенного значения. Отклонения частоты были незначительны и не превышали 0,02 Гц что не превышает положенного 0,1 Гц.

В административном корпусе напротив фазы А и В загружены практически одинаково но почти в 2 раза меньше чем фаза С. Отклонения напряжения в период максимальных нагрузок не превышают предельно допустимые 5%. Так же как и в механическом корпусе ночью при отсутствии нагрузок напряжение поднимается до 237 В. Здесь размах напряжения достаточно мал так как измерения проводились на части электрической схемы отвечающей за освещение, а нагрузка там не такая скачкообразная на силовых частях. А вот значение токовых гармонических составляющих в главном корпусе значительно превышает допустимые значения, преобладает гармоника № 3. Такие предельные значения гармоник приводят к другой проблеме – несинусоидальности. Виды синусоид тока при таких значениях гармоник показаны на рис. 3. Измерения проводились в цепи внутреннего освещения, где используется огромное количество люминесцентных ламп, которые как раз и являются источниками несимметрии и высоких значений гармоник токов. При этом нужно учитывать, что напряжение на выводах ламп не должно быть выше 105% и ниже 95% номинального напряжения (ГОСТ 13109-97). Снижение напряжения на 1% вызывает уменьшение светового потока ламп накаливания на 3-4%, люминесцентных ламп на 1,5% [5]. Перенапряжение сети приводит к увеличению потребляемой энергии осветительными установками. Так повышение напряжения на 10% у ламп накаливания вызывает увеличение потребляемой мощности на 16,4%, а у люминесцентных ламп – на 20%. Это вызывает значительное сокращение срока службы ламп и увеличение количества ламп необходимых для эксплуатации осветительных приборов. При перенапряжении сети на 3% относительный срок службы сократится до 66,2%, а при перенапряжении сети на 10% - до 7,8% от номинального у ламп накаливания и у разрядных ламп соответственно при 3% до 90%, а при перенапряжении 10% относительный срок службы сократится до 73%.

Для решения данной проблемы необходимо применение фильтрокомпенсирующих устройств. L-С цепочка, включенная в сеть, образует колебательный контур, реактивное сопротивление которого для токов определённой частоты равно нулю. Подбо-

ром величин L и C фильтр настраивается на частоту гармоники тока и замыкает её не пропуская в сеть.

Набор таких контуров, специально настроенных на генерируемые данной нелинейной нагрузкой высшие гармоники тока, и образует фильтрокомпенсирующее устройство, которое не пропускает в сеть гармоники тока и компенсирует протекание реактивной мощности по сети (рис.4).

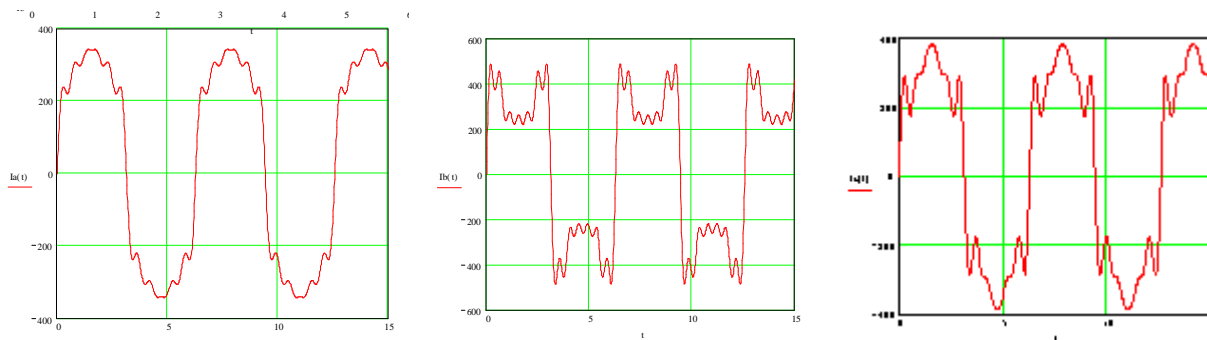


Рис. 3. Синусоиды тока 3-х фаз в административном корпусе

Также возможны и другие варианты решения данной проблемы:

- Применение оборудования с улучшенными характеристиками "ненасыщающиеся" трансформаторы.
- Подключение к мощной системе электроснабжения.
- Питание нелинейной нагрузки от отдельных трансформаторов или секций шин.
- Снижение сопротивления питающего участка сети.

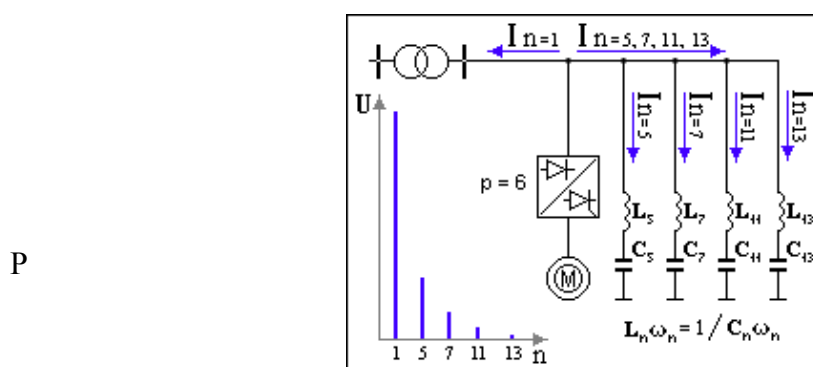


Рис. 4. Фильтрокомпенсирующие устройства

Отклонения частоты были незначительны и не превышали 0,02 Гц, что не превышает положенного 0,1 Гц.

В лабораторном корпусе нагрузка фазы В превышает нагрузку на другие фазы в 6-7 раз и составляет в некоторые моменты 85% от общей нагрузки.

Отклонения напряжения в период максимальных нагрузок немного превышают предельно допустимые 5%. Вариантом решения данной проблемы может являться переключения РПН для повышения напряжения питания.

$$\begin{aligned}\delta U_a \% &= \frac{226 - 205}{220_H} 100 \% = 9.5 \% \\ \delta U_b \% &= \frac{229 - 212}{220_H} 100 \% = 7.7 \% \\ \delta U_c \% &= \frac{228 - 224}{220_H} 100 \% = 10 \%\end{aligned}$$

Такой размах напряжения объясняется тем, что максимум значения берется в ночное время при полном отсутствии нагрузки. В дневное время напряжение не превышает 220 В и соответственно колебания не превышают 5%. Исключение составляет фаза А которая получается явно перегружена.

Значения токовых гармонических составляющих в лабораторном корпусе значительно превышает допустимые значения и даже выше чем в главном корпусе. Это может быть объяснено тем, что измерения проводились в силовой цепи, а в лабораторном корпусе используются дуговые печи, которые как раз и являются источниками несимметрии и высоких значений гармоник токов.

Отклонения частоты были незначительны и не превышали 0,02 Гц, что не превышает положенного 0,1 Гц.

Таким образом, можно сделать вывод, что большой проблемой является несимметрия нагрузки по фазам в системе электроснабжения университета. Проблема возникающая при неравномерности нагрузки – токи обратной последовательности которые будут протекать по нулевому проводу и при достижении предельных значений могут вызвать его повреждение, кроме этого наличие потенциала на нулевом проводе имеет отрицательное воздействие на точных электронных приборах питающихся от такой сети. Способы симметрирования несимметричных трехфазных сетей и нагрузок сводятся в основном к симметрированию системы несимметричных токов и напряжений при помощи рационального распределения (равномерного) нагрузок по фазам, либо при помощи управляемых и неуправляемых емкостных и индуктивных симметрирующих устройств в зависимости от характера графика нагрузок. Другая проблема обнаруженная в ходе выполнения работы это высокие значения токовых гармоник. Гармоники могут нарушать работу устройств защиты или ухудшать их характеристики. Характер нарушения зависит от принципа работы устройства. Наиболее распространенными являются ложные срабатывания, которые наиболее вероятны в работе систем защиты, основанных на измерении сопротивлений.

Также предложены мероприятия по снижению потерь в сети электроснабжения университета - установка конденсаторных батарей в местах наибольшего потребления реактивной мощности(общежитие № 1 – 130 кВар; общежитие № 2 – 131 кВар; механический корпус – 69 кВар). Предлагается установить 2 батареи ёмкостью 100 кВар АКУ 0,4-62,5-12,5 УХЛ 3(стоимость 40000руб.) и 1 батарею ёмкостью 50 кВар АКУ 0,4-55-10 УХЛЗ (стоимость 23000руб.). Таким образом, экономия электроэнергии составит 2253,6 кВт*час за 1 месяц и 27043,2 кВт*час за год соответственно.

Литература

1. Управление качеством электроэнергии. Под редакцией Ю.В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 320с.
2. Ковалко М.П., Мозгалева В.С., Дубинский Е.В., Богданов В.А., Карташов Г.Г., Пономаренко И.С. Основные принципы построения системы контроля, анализа и управления качеством электроэнергии. Электрические станции, №4, 1998.- С.3-8.
3. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. - М.: Энергоатомиздат, 2005. - 261 с.
4. Гриб О.Г., Сапрыка А.В., Бородин Д.В., Жданов Р.В. Анализ качества электрической энергии в сетях общего пользования 0,4 кВ // Світлотехніка та електроенергетика. Міжн. научн.-техн. журнал. Вып.1(9) – Харків.: ХНАМГ - 2007.- С.53-60.
5. Копытов Ю.В., Чуланов Б.А. Экономия электроэнергии в промышленности. – М. : Энергоатомиздат, 1982. - 108 с.

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ З УРАХУВАННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ЗМІННОГО СТРУМУ 0.4 КВ В М. БЄЛГОРОД

М.Н. Нестеров, А.А. Виноградов, О.В. Саприка, В.О. Саприка

Приведені результати дослідження електроспоживання з урахуванням якості електричної енергії в мережах змінного струму 0,4 кВ, проведений аналіз показників якості, дані практичні рекомендації.

ANALYSIS OF ELECTRO-CONSUMPTION TAKING INTO ACCOUNT QUALITY OF ELECTRIC ENERGY IN NETWORKS OF ALTERNATING CURRENT 0.4 KV OF BELGOROD

M.N.Nesterov, A.A. Vinogradov, A.V. Saprika, V.A. Saprika

The results of research of electro-consumption are resulted taking into account quality of electric energy in the networks of alternating current 0,4 kV, the analysis of indexes of quality is conducted, practical recommendations are given.